

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 196 48 955 A 1

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
H 01 L 33/00

②1 Aktenzeichen: 196 48 955.5  
②2 Anmeldetag: 26. 11. 96  
④3 Offenlegungstag: 28. 5. 97

DE 196 48 955 A 1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1

27.11.95 JP 7-307282 22.03.96 JP 8-066248  
06.09.96 JP 8-236845

⑦1 Anmelder:

Sumitomo Chemical Co., Ltd., Osaka, JP

⑦4 Vertreter:

Vossius & Partner, 81675 München

⑦2 Erfinder:

Iyechika, Yasushi, Tsukuba, Ibaraki, JP; Ono,  
Yoshinobu, Yawara, Ibaraki, JP; Takada, Tomoyuki,  
Tsukuba, Ibaraki, JP; Inui, Katsumi, Tsukuba, Ibaraki,  
JP

⑤4 III-V-Verbindungshalbleiter und lichtemittierende Vorrichtung

⑤7 Ein III-V-Verbindungshalbleiter mit hoher Kristallinität und hoher Qualität und eine lichtemittierende Vorrichtung, die diesen verwendet und eine hohe Lichtausbeute aufweist, werden hergestellt, indem eine spezifische Grundschrift bereitgestellt wird, die mindestens aus drei Schichten zwischen der Leuchtschicht und dem Substrat besteht. Eine lichtemittierende Vorrichtung, die in der Lage ist, die Ausbildung einer Fehlanpassungsversetzung auf der Grenzfläche der Leuchtschicht zu verhindern und auf einfache Weise Licht mit einer längeren Wellenlänge zu emittieren, wird auch bereitgestellt, indem das AIN-Mischkristallverhältnis von mindestens einer Schicht zwischen der Leuchtschicht und dem Substrat so gesteuert wird, daß es in einem spezifischen Bereich gehalten wird, und die Gitterkonstante der Leuchtschicht so gesteuert wird, daß sie auf einem Wert gehalten wird, der größer ist als der der Grundschrift, wobei die Leuchtschicht mit einer Druckverformung in Kontakt mit der Grundschrift ausgebildet wird.

DE 196 48 955 A 1



Die Erfindung betrifft einen III-V-Verbindungshalbleiter, der durch die allgemeine Formel  $\text{In}_u\text{Ga}_v\text{Al}_w\text{N}$  (wobei gilt:  $u + v + w = 1$ ,  $0 \leq u \leq 1$ ,  $0 \leq v \leq 1$  und  $0 \leq w \leq 1$ ) dargestellt wird, und eine lichtemittierende Vorrichtung bzw. ein lichtemittierendes Bauelement, die bzw. das diesen verwendet.

Als Material für lichtemittierende Vorrichtungen, z. B. eine ultraviolette oder blaue Licht emittierende Diode, eine Ultraviolett- oder Blaulaserdiode usw., ist ein III-V-Verbindungshalbleiter bekannt, der durch die allgemeine Formel  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$  (wobei gilt:  $x + y + z = 1$ ,  $0 < x \leq 1$ ,  $0 \leq y < 1$  und  $0 \leq z < 1$ ) dargestellt wird. Nachstehend werden  $x$ ,  $y$  und  $z$  in dieser allgemeinen Formel mitunter als "InN-Mischkristallverhältnis", "GaN-Mischkristallverhältnis" bzw. "AlN-Mischkristallverhältnis" bezeichnet. III-V-Verbindungshalbleiter, die InN in einem Mischkristallverhältnis von nicht unter 10% enthalten sind, besonders wichtig für Anzeigeanwendungen, weil eine Lumineszenzwellenlänge im sichtbaren Bereich entsprechend dem InN-Mischkristallverhältnis eingestellt werden kann.

Im Übrigen war der Verbindungshalbleiter und die lichtemittierende Vorrichtung, die diesen verwendet, mit folgenden Problemen behaftet.

Zunächst ist versucht worden, eine Schicht aus dem III-V-Verbindungshalbleiter auf verschiedenen Substraten (z. B. Saphir, GaAs, ZnO usw.) auszubilden. Ein Kristall mit ausreichend hoher Qualität muß jedoch erst noch hergestellt werden, da die Gitterkonstanten und die chemischen Eigenschaften der Substrate sich von denen des Verbindungshalbleiters stark unterscheiden. Deshalb ist versucht worden, zuerst einen GaN-Kristall zu ziehen, dessen Gitterkonstanten und chemische Eigenschaften denen des Verbindungshalbleiters äußerst ähnlich sind, und den Verbindungshalbleiter darauf zu ziehen, um einen ausgezeichneten Kristall herzustellen (Japanisches Patent Kokoku Nr. 55-3 834). Es ist jüngst berichtet worden, daß eine hocheffektive lichtemittierende Vorrichtung realisiert werden kann, wenn die Dicke der Leuchtschicht so gesteuert wird, daß sie etwa 20 Å in einer lichtemittierenden Vorrichtung mit einem Halbleiter, der durch  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{N}$  (wobei gilt:  $x + y = 1$ ,  $0 < x < 1$  und  $0 < y < 1$ ) dargestellt wird, als aktive Schicht aufweist (Japanese Journal of Applied Physics, 1955, Bd. 34 S. L797). In diesem Fall ist jedoch auch berichtet worden, daß sich die Lichtausbeute verringert, wenn das InN-Mischkristallverhältnis der Leuchtschicht erhöht wird.

Zweitens hängt eine Gitterkonstante des III-V-Verbindungshalbleiters weitgehend vom InN-Mischkristallverhältnis ab, und die Gitterkonstante wird größer, wenn sich das InN-Mischkristallverhältnis erhöht. Deshalb weisen, selbst wenn versucht wird, einen III-V-Verbindungshalbleiter mit einem großen InN-Mischkristallverhältnis auf einem III-V-Verbindungshalbleiter zu ziehen, der kein In (z. B. GaN usw.) enthält, lediglich diejenigen mit einer ausreichend kleinen Schichtdicke gute Kristallinität auf. Es ist jedoch bekannt, daß es schwierig ist, einen Kristall mit einer Gitterkonstanten herzustellen, die sich weitgehend von der einer Grundschicht unterscheidet, und zwar wegen einer sogenannten Selbstregulierungswirkung des Mischkristallverhältnisses auf die Gitteranpassung, wenn die Schichtdicke klein ist. Diese Tatsache zeigt also, daß es schwierig ist, eine dünne Schicht des Verbindungshalbleiters mit hohem InN-Mischkristallverhältnis auf der Halbleiter-

schicht, die kein In (z. B. GaN usw.) enthält, auszubilden. Demzufolge war es schwierig, eine Wellenlänge der lichtemittierenden Vorrichtung durch Erhöhung des InN-Mischkristallverhältnisses zu verlängern.

Andererseits wurde als Verfahren zur Herstellung einer lichtemittierenden Vorrichtung mit einer langen Lumineszenzwellenlänge unter Verwendung einer Leuchtschicht mit einem niedrigen InN-Mischkristallverhältnis ein Verfahren zur wesentlichen Verlängerung einer Lumineszenzwellenlänge durch Ausübung einer Zugspannung auf eine Leuchtschicht in einer lichtemittierenden Vorrichtung mit einer Supergitterstruktur, die einen III-V-Verbindungshalbleiter als die Leuchtschicht verwendet, vorgeschlagen (EP-A-0 716 457). Um die Zugspannung auf den Verbindungshalbleiter mit einer Gitterkonstanten, die größer ist als die der Grundschicht, auszuüben, kann jedoch nicht vermieden werden, daß viele Fehlanpassungsversetzungen bzw. Gitterfehlstellen auf der Grenzfläche zwischen der Grundschicht und der Leuchtschicht entstehen, und dadurch konnte eine Verschlechterung der Kristallinität der Leuchtschicht nicht vermieden werden. Der Begriff "Fehlanpassungsversetzung", der hier verwendet wird, bedeutet eine Versetzung, die auf der Grenzfläche zwischen beiden Schichten wegen der Differenz der Gitterkonstanten zwischen beiden aufeinandergeschichteten Schichten ausgebildet ist.

Die erste Aufgabe der Erfindung ist es, einen III-V-Verbindungshalbleiter mit hoher Kristallinität und hoher Qualität und eine lichtemittierende Vorrichtung, die diesen verwendet und die eine hohe Lichtausbeute aufweist, bereitzustellen.

Die zweite Aufgabe der Erfindung ist es, eine lichtemittierende Vorrichtung bereitzustellen, die in der Lage ist, die Ausbildung einer Fehlanpassungsversetzung auf der Grenzfläche der Leuchtschicht zu verhindern und Licht mit einer längeren Wellenlänge auf einfache Weise zu emittieren.

Unter diesen Umständen haben die Erfinder der vorliegenden Anwendung intensive Studien durchgeführt. Im Ergebnis ist festgestellt worden, daß durch Bereitstellung einer spezifischen Grundschicht, die aus mindestens drei Schichten zwischen der Leuchtschicht und dem Substrat besteht, die Kristallinität der Schicht, die auf der Grundschicht gezogen wird, deutlich verbessert worden ist.

Es ist außerdem festgestellt worden, daß durch Steuerung des AlN-Mischkristallverhältnisses von mindestens einer Schicht zwischen der Leuchtschicht und dem Substrat, so daß dieses in einem spezifischen Bereich liegt, und durch Steuerung der Gitterkonstanten der Leuchtschicht, so daß diese einen Wert hat, der größer ist als der der Grundschicht, die Leuchtschicht mit einer Druckverformung in Kontakt mit der Grundschicht ausgebildet wird, wodurch die Ausbildung der Fehlanpassungsversetzung verhindert und die Lumineszenzwellenlänge verlängert wird.

Das heißt, der erste Teil der Erfindung betrifft einen III-V-Verbindungshalbleiter (1) mit mindestens einer Leuchtschicht und einer Ladungsinjektionsschicht auf einem Substrat, wobei die Leuchtschicht ein III-V-Verbindungshalbleiter ist, der durch die allgemeine Formel  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$  (wobei gilt:  $0 < x \leq 1$ ,  $0 \leq y < 1$ ,  $0 \leq z < 1$  und  $x + y + z = 1$ ) dargestellt wird, wobei die Ladungsinjektionsschicht ein III-V-Verbindungshalbleiter ist, der durch die allgemeine Formel  $\text{In}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{Al}_{z'}\text{N}$  (wobei gilt:  $0 \leq x' \leq 1$ ,  $0 \leq y' \leq 1$ ,  $0 \leq z' \leq 1$  und  $x' + y' + z' = 1$ ) dargestellt wird und einen Bandabstand hat,



der größer ist als der der Leuchtschicht, wobei die Leuchtschicht zwischen zwei Ladungsinjektionsschichten, die in Kontakt mit diesen sind, angeordnet ist, der dadurch gekennzeichnet ist, daß er eine Grundsicht aus mindestens drei Schichten zwischen der Leuchtschicht und dem Substrat aufweist, wobei jede Schicht, die die Grundsicht bildet, ein III-V-Verbindungshalbleiter ist, der durch die allgemeine Formel  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$  (wobei gilt:  $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$  und  $x + y + z = 1$ ) dargestellt wird, wobei mindestens eine Schicht in der Grundsicht zwischen zwei Schichten mit einem InN-Mischkristallverhältnis angeordnet ist, das kleiner ist als das der Schicht, die in Kontakt mit ihnen ist, wobei das InN-Mischkristallverhältnis der Schicht, die zwischen den beiden Schichten mit dem kleineren InN-Mischkristallverhältnis angeordnet sind, 0,05 oder darüber größer ist als das der Schicht, die in Kontakt mit der Schicht von der Substratseite ist, und wobei mindestens eine Schicht zwischen der Schicht auf der Substratseite von den beiden Schichten mit einem kleineren InN-Mischkristallverhältnis und der Leuchtschicht mit einer n-Verunreinigung dotiert ist.

Die Erfindung betrifft auch eine lichtemittierende Vorrichtung (2), die den oben beschriebenen III-V-Verbindungshalbleiter (1) verwendet.

Der zweite Teil der Erfindung betrifft auch eine lichtemittierende Vorrichtung mit einer Struktur, bei der eine Grundsicht eines III-V-Verbindungshalbleiters, die durch die allgemeine Formel  $\text{In}_a\text{Ga}_b\text{Al}_c\text{N}$  (wobei gilt:  $0 \leq a < 1, 0 < b < 1, 0,05 \leq c < 1$  und  $a + b + c = 1$ ) dargestellt wird, eine Leuchtschicht eines III-V-Verbindungshalbleiters, die durch die allgemeine Formel  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$  (wobei gilt:  $0 < x \leq 1, 0 \leq y < 1, 0 \leq z < 1$  und  $x + y + z = 1$ ) dargestellt wird und einen Bandabstand hat, der kleiner ist als der der Grundsicht, und eine Schutzschicht eines III-V-Verbindungshalbleiters, die durch die allgemeine Formel  $\text{In}_a'\text{Ga}_b'\text{Al}_c'\text{N}$  (wobei gilt:  $0 < a' < 1, 0 < b' \leq 1, 0 \leq c' < 1$  und  $a' + b' + c' = 1$ ) dargestellt wird und einen Bandabstand hat, der größer ist als der der Leuchtschicht, in dieser Reihenfolge aufeinander geschichtet sind; und eine Gitterkonstante der Leuchtschicht größer ist als die der Grundsicht und eine Druckbelastung auf die Leuchtschicht in der Verbindungsrichtung ausgeübt wird.

Die Erfindung wird nachstehend ausführlich mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine Schnittansicht, die eine erfindungsgemäße Ausführungsform des III-V-Verbindungshalbleiters darstellt;

Fig. 2 eine Schnittansicht, die eine erfindungsgemäße Ausführungsform des III-V-Verbindungshalbleiters darstellt, der für die lichtemittierende Vorrichtung verwendet wird;

Fig. 3 eine Schnittansicht, die die in Beispiel 1 ausgeführte, erfindungsgemäße lichtemittierende Vorrichtung darstellt;

Fig. 4 eine Schnittansicht, die die in Beispiel 6 dargestellte, erfindungsgemäße lichtemittierende Vorrichtung darstellt.

Zunächst wird der erste Teil der Erfindung beschrieben.

Der erfindungsgemäße III-V-Verbindungshalbleiter weist eine Grundsicht und eine Supergitterstruktur auf einem Substrat in dieser Reihenfolge auf. Die Supergitterstruktur ist die Schicht, in der eine Schicht (nachstehend mitunter als "Leuchtschicht" bezeichnet), die durch die allgemeine Formel  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$  (wobei gilt:  $x + y + z = 1, 0 < x \leq 1, 0 \leq y < 1$  und  $0 \leq z < 1$ ) dargestellt wird, zwischen Schichten (nachstehend als "Ladungsinjektionsschicht" bezeichnet), die durch die allgemeine Formel  $\text{In}_x'\text{Ga}_y'\text{Al}_z'\text{N}$  (wobei gilt:  $0 \leq x' \leq 1, 0 \leq y' \leq 1, 0 \leq z' \leq 1$  und  $x' + y' + z' = 1$ ) dargestellt werden und einen Bandabstand haben, der größer ist als der der Leuchtschicht, die in Kontakt mit diesen ist. Es wird vorausgesetzt, daß  $x', y'$  und  $z'$  in der allgemeinen Formel, die zwei Ladungsinjektionsschichten darstellt, gleich oder unterschiedlich sind.

Die erfindungsgemäße Grundsicht besteht aus mindestens drei Schichten, und alle Schichten werden durch die allgemeine Formel  $\text{In}_a\text{Ga}_b\text{Al}_c\text{N}$  (wobei gilt:  $0 \leq a \leq 1, 0 \leq b \leq 1, 0 \leq c \leq 1$  und  $a + b + c = 1$ ) dargestellt. Es wird vorausgesetzt, daß  $a, b$  und  $c$  in der allgemeinen Formel, die mindestens drei Schichten in der Grundsicht darstellt, gleich oder unterschiedlich sein können.

In der erfindungsgemäßen Grundsicht ist mindestens eine Schicht in der Grundsicht zwischen zwei Schichten mit einem InN-Mischkristallverhältnis angeordnet, das kleiner ist als das dieser Schicht, die in Kontakt mit diesen ist.

Die Schicht, die zwischen den Schichten mit einem kleineren Mischkristallverhältnis in der erfindungsgemäßen Grundsicht angeordnet ist, wird mitunter als "verformte Schicht" bezeichnet.

Wenn man die verformte Schicht mit der Schicht vergleicht, die mit der verformten Schicht von der Substratseite in Kontakt ist, ist die Differenz des InN-Mischkristallverhältnisses zwischen der verformten Schicht und der Schicht, die mit der verformten Schicht von der Substratseite in Kontakt ist, nicht kleiner als 0,05, besonders bevorzugt nicht unter 0,1, am besten nicht unter 0,2. Wenn die Differenz des Mischkristallverhältnisses kleiner ist als 0,05, ist die erfindungsgemäße Wirkung nicht ausreichend.

Eine Dicke der verformten Schicht ist vorzugsweise nicht kleiner als 5 Å. Wenn die Dicke der verformten Schicht kleiner ist als 5 Å, ist die erfindungsgemäße Wirkung nicht ausreichend.

Da die verformte Schicht eine Gitterverformung hat, entstehen mitunter Gitterdefekte, wenn die Dicke zu groß ist. In diesem Fall verschlechtert sich schließlich die Kristallinität der auf der verformten Schicht gezogenen Schicht, und dies wird nicht bevorzugt. Der bevorzugte obere Grenzwert der Dicke der verformten Schicht hängt von einer Differenz des InN-Mischkristallverhältnisses zwischen der verformten Schicht und der vor der verformten Schicht gezogenen Schicht ab.

Insbesondere ist die Dicke der verformten Schicht vorzugsweise nicht größer als 600 Å, wenn die Differenz des InN-Mischkristallverhältnisses 0,05 ist. Die Dicke der verformten Schicht ist vorzugsweise nicht größer als 100 Å, wenn die Differenz des InN-Mischkristallverhältnisses 0,3 beträgt. Das heißt, das Produkt aus der Differenz des Mischkristallverhältnisses und der Dicke (Å) der verformten Schicht ist vorzugsweise nicht größer als 30, wenn die Differenz des InN-Mischkristallverhältnisses nicht größer ist als 0,3. Die Dicke der verformten Schicht ist vorzugsweise nicht größer als 100 Å, wenn die Differenz des InN-Mischkristallverhältnisses 0,3 überschreitet.

Obwohl die erfindungsgemäße Wirkung erreicht werden kann, wenn die Anzahl der verformten Schichten eins ist, kann die größere Wirkung mitunter dadurch erreicht werden, daß mehrere verformten Schichten



verwendet werden. Beispiele für die Grundsicht sind eine Struktur aus  $(2m + 1)$  Schichten, die  $m$  Schichten mit einem größeren InN-Mischkristallverhältnis und  $(m + 1)$  Schichten mit einem kleineren InN-Mischkristallverhältnis aufweisen, die aufeinander geschichtet sind. Außerdem ist  $m$  eine positive ganze Zahl, die nicht kleiner ist als 2.

In der Grundsicht der Schichtstruktur, die mehrere dieser verformten Schichten enthält, kann das InN-Mischkristallverhältnis, muß jedoch nicht nach und nach geändert werden, während die Dicke jeder verformten Schicht aufrechterhalten wird. Die Dicke der Schicht kann nach und nach geändert werden, wenn die Dicke die kritische Schichtdicke nicht überschreitet, während das InN-Mischkristallverhältnis jeder verformten Schicht aufrechterhalten wird.

In den Schichten mit einem InN-Mischkristallverhältnis, das kleiner ist als das der verformten Schicht, kann das InN-Mischkristallverhältnis oder die Dicke der Schichten nach und nach geändert werden oder kann so bleiben, wie es bzw. sie ist.

Die Kristallinität einer auf der Grundsicht gezogenen Schicht, kann deutlich verbessert werden, indem diese Grundsicht mit der verformten Schicht zwischen der Leuchtschicht und dem Substrat bereitgestellt wird. Obwohl diese Wirkung auch erkannt wird, wenn der Verbindungshalbleiter bei einem atmosphärischen Druck unter Verwendung eines organometallischen Dampfphasenepitaxieverfahrens, das später beschrieben wird, gezogen wird, wird diese Wirkung deutlich, wenn das Wachstum unter einem verringerten Druck erfolgt.

Die Kristallinität kann durch die Dichte der Ätzgruben erkannt werden, die auf der Oberfläche des Verbindungshalbleiters, der mit einer erwärmten Mischsäure aus Phosphorsäure und Schwefelsäure behandelt worden ist, ausgebildet sind. Es gibt Überlegungen, daß die Grundsicht die Übertragung von Versetzungen verhindert, die im Verbindungshalbleiterkristall vorhanden sind, weil die Wirkung der Grundsicht als eine Verringerung der Ätzgrubendichte erscheint.

Ferner ist die Erfindung dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Schicht zwischen der Schicht auf der Substratseite von den beiden Schichten mit einem kleineren InN-Mischkristallverhältnis und der Leuchtschicht mit einer n-Verunreinigung dotiert ist. Spezifische Beispiele dafür sind solche, wo die verformte Schicht oder die auf der verformten Schicht gezogenen Schicht mit einem kleineren InN-Mischkristallverhältnis mit einer n-Verunreinigung dotiert ist.

Unter Verwendung der oben beschriebenen Struktur kann vermieden werden, daß sich injizierte Träger in der verformten Schicht rekombinieren und daß die Rekombinationseffizienz in der Leuchtschicht auch dann herabgesetzt wird, wenn der Bandabstand der verformten Schicht kleiner wird als der der mit der verformten Schicht zu verbindenden Schicht, da das InN-Mischkristallverhältnis der verformten Schicht größer ist als das der mit der verformten Schicht zu verbindenden Schicht.

Eine bevorzugte Konzentration von Trägern in der dotierten Schicht ist nicht kleiner als  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , vorzugsweise nicht kleiner als  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ .

Eine Ausführungsform der Struktur des erfindungsgemäßen III-V-Verbindungshalbleiters ist in Fig. 1 dargestellt. Die in Fig. 1 dargestellte Ausführungsform ist die, bei der eine Grundsicht aus einer verformten Schicht 2, einer n-Schicht 1 und einer n-Schicht 3, eine

Schicht mit einer Supergitterstruktur, bei der zwischen zwei Ladungsinjektionsschichten 4, 6 eine Leuchtschicht 5 angeordnet ist, die in Kontakt mit ihr ist, und eine p-Schicht 7 in dieser Reihenfolge aufeinander geschichtet sind.

Ein Strom wird dadurch injiziert, daß eine n-Elektrode auf der n-Schicht 1 oder der n-Schicht 3 bereitgestellt wird, eine p-Elektrode auf der p-Schicht 7 bereitgestellt wird und anschließend eine Spannung in Vorwärtsrichtung angelegt wird, wodurch eine Emission aus der Leuchtschicht 5 und der erfindungsgemäßen lichtemittierenden Vorrichtung hervorgerufen wird.

Wenn die Konzentration von n-Trägern in der Ladungsinjektionsschicht 4 ausreichend hoch ist, kann die n-Elektrode auf der Ladungsinjektionsschicht 4 ausgebildet werden.

Wenn der Bandabstand der n-Schicht 3 größer ist als der der Leuchtschicht, kann die n-Schicht 3 auch als die Ladungsinjektionsschicht dienen, ohne daß sich die n-Schicht 3 von der Ladungsinjektionsschicht 4 als eine andere Schicht unterscheidet, und die Ladungsinjektionsschicht 4 muß nicht gezogen werden.

Wenn die Konzentration der p-Träger in der Ladungsinjektionsschicht 6 ausreichend hoch ist, kann eine Elektrode auf der Ladungsinjektionsschicht 6 ausgebildet werden. In diesem Fall braucht die p-Schicht 7 nicht ausgebildet zu werden.

Wenn die Ladungsinjektionsschicht 4 oder die Ladungsinjektionsschicht 6 mit einer hohen Konzentration dotiert ist, wird die Kristallinität dieser Schichten mitunter schlechter. In diesem Fall werden die Leuchtcharakteristik oder die elektrische Charakteristik schlechter, und dies wird nicht bevorzugt. In diesem Fall muß die Konzentration der Störstellen in der Ladungsinjektionsschicht 4 oder der Ladungsinjektionsschicht 6 verringert werden. Der Konzentrationsbereich, in dem die Kristallinität nicht schlechter wird, ist vorzugsweise nicht größer als  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  besonders bevorzugt nicht größer als  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ .

Im übrigen ist bekannt, daß die mit einer vergleichsweise hohen Qualität auf einfache Weise hergestellt für den Verbindungshalbleiter, der kein In enthält, unter Verwendung einer richtigen Pufferschicht werden können, im Vergleich zu dem Verbindungshalbleiter mit In. Deshalb werden der Ladungsinjektionsträger und die Leuchtschicht vorzugsweise auf der Schicht ohne In auf dem Substrat gezogen. Wenn die Schicht mit In als Ladungsinjektionsschicht verwendet wird, entstehen mitunter Gitterdefekte in der Ladungsinjektionsschicht, und zwar aufgrund einer Gitterfehlpassung zwischen der Ladungsinjektionsschicht und der Schicht ohne In, die vorher auf dem Substrat gezogen worden ist. In diesem Fall kann die Ausbildung von Gitterdefekten in der Ladungsinjektionsschicht verhindert werden, indem die erfindungsgemäße Grundsicht zwischen der Schicht ohne In, die vorher gezogen worden ist, und der Ladungsinjektionsschicht angeordnet wird.

Als nächstes wird die Leuchtschicht beschrieben.

Da die Gitterkonstante des III-V-Verbindungshalbleiters in Abhängigkeit vom Mischkristallverhältnis stark variiert, wird die Dicke der Leuchtschicht vorzugsweise entsprechend dem Betrag der Verformung, die durch die Gitterfehlpassung entsteht, verringert, wenn eine große Differenz der Gitterkonstante zwischen der Leuchtschicht und der Ladungsinjektionsschicht des III-V-Verbindungshalbleiters besteht.

Der bevorzugte Bereich der Dicke der Leuchtschicht hängt vom Betrag der Verformung ab. Wenn die





Leuchtschicht mit dem InN-Mischkristallverhältnis, das nicht kleiner als 10% ist, auf der Schicht, die durch  $Ga_{1-a}Al_bN$  (wobei gilt:  $a + b = 1, 0 \leq a \leq 1$  und  $0 \leq b \leq 1$ ) als Ladungsinjektionsschicht dargestellt wird, als die Ladungsinjektionsschicht angeordnet wird, liegt die bevorzugte Dicke der Leuchtschicht im Bereich von 5 bis 90 Å. Wenn die Dicke der Leuchtschicht kleiner ist als 5 Å, wird die Lichtausbeute unzureichend. Wenn andererseits die Dicke größer ist als 90 Å, entstehen Gitterdefekte, und die Lichtausbeute ist ebenfalls unzureichend.

Da in die Leuchtschicht Ladungen in hoher Dichte injiziert werden können, indem die Dicke der Leuchtschicht verringert wird, kann die Lichtausbeute verbessert werden. Deshalb wird die Dicke der Leuchtschicht vorzugsweise so gesteuert, daß sie auch dann in dem gleichen Bereich liegt wie der Bereich der oben beschriebenen Ausführungsform, wenn die Differenz der Gitterkonstante kleiner ist als die in der oben beschriebenen Ausführungsform.

Wenn die Leuchtschicht Al enthält, werden Störstellen, z. B. Sauerstoff, leicht aufgenommen, und die Lichtausbeute wird mitunter herabgesetzt. In diesem Fall können solche Schichten, die durch die allgemeine Formel  $In_xGa_yN$  (wobei gilt:  $x + y = 1, 0 < x \leq 1$  und  $0 \leq y < 1$ ) dargestellt werden und kein Al enthalten, als die Leuchtschicht verwendet werden.

Eine Differenz des Bandabstands zwischen der Ladungsinjektionsschicht und der Leuchtschicht ist vorzugsweise nicht kleiner als 0,1 eV. Wenn die Differenz des Bandabstands zwischen der Ladungsinjektionsschicht und der Leuchtschicht kleiner ist als 0,1 eV, ist die Injektion von Trägern in die Leuchtschicht nicht ausreichend, und die Lichtausbeute wird herabgesetzt. Besonders bevorzugt ist sie kleiner als 0,3 eV. Wenn andererseits der Bandabstand der Ladungsinjektionsschicht 5 eV überschreitet, wird die für die Ladungsinjektion erforderliche Spannung hoch, und dadurch ist der Bandabstand der Ladungsinjektionsschicht vorzugsweise nicht größer als 5 eV.

Die Dicke der Ladungsinjektionsschicht beträgt vorzugsweise 10 bis 5000 Å. Auch wenn die Dicke der Ladungsinjektionsschicht kleiner als 5 Å oder größer als 5000 Å ist, wird die Lichtausbeute herabgesetzt, und daher wird dies nicht bevorzugt. Besonders bevorzugt liegt sie im Bereich von 10 bis 2000 Å.

Die Leuchtschicht kann aus einer einzelnen Schicht oder aus mehreren Schichten bestehen. Beispiele für eine solche Struktur sind eine Schichtstruktur aus  $(2n + 1)$  Schichten, wobei  $n$  Leuchtschichten und  $(n + 1)$  Schichten mit einem Bandabstand, der größer ist als der der Leuchtschichten, alternierend aufeinander geschichtet sind. Es wird vorausgesetzt, daß  $n$  eine positive ganze Zahl ist und vorzugsweise 1 bis 50, besonders bevorzugt 1 bis 30 ist. Wenn  $n$  nicht kleiner als 50 ist, wird die Lichtausbeute herabgesetzt, und das Ziehen dauert lange, und deshalb wird dies nicht bevorzugt. Eine solche Struktur mit mehreren Leuchtschichten ist besonders nützlich in dem Fall, wo Halbleiterlaser hergestellt werden, bei denen eine starke Lichtausgangsleistung erforderlich ist.

Es kann Licht mit einer Wellenlänge emittiert werden, die sich von der des Bandabstands der Leuchtschicht unterscheidet, und zwar indem die Leuchtschicht mit Störstellen dotiert wird. Dies wird wegen der von den Störstellen ausgehenden Emission als "Störstellenemission" bezeichnet. Bei Störstellenemission variiert die Lumineszenzwellenlänge in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Elements der Gruppe III und des Stör-

stellenelements der Leuchtschicht. In diesem Fall ist das InN-Mischkristallverhältnis der Leuchtschicht vorzugsweise nicht kleiner als 5%. Wenn das InN-Mischkristallverhältnis kleiner ist als 5%, ist fast das gesamte emittierte Licht ultraviolettes Licht, und es ist keine ausreichende Helligkeit festzustellen. Die Lumineszenzwellenlänge wird länger, wenn sich das InN-Mischkristallverhältnis erhöht, und die Lumineszenzwellenlänge kann von Violett zu Blau, dann zu Grün geändert werden.

Als die Verunreinigung, die für die Störstellenemission geeignet ist, werden Elemente der Gruppe II bevorzugt. Wenn von den Elementen der Gruppe II Mg, Zn oder Cd zur Dotierung verwendet werden, ist die Lichtausbeute hoch, und dies wird deshalb bevorzugt. Zn wird besonders bevorzugt. Die Konzentration dieser Elemente liegt vorzugsweise im Bereich von  $10^{18}$  bis  $10^{22} \text{ cm}^{-3}$ . Die Leuchtschicht kann gleichzeitig mit Si oder Ge, zusammen mit diesen Elementen der Gruppe II dotiert werden. Die Konzentration von Si oder Ge liegt vorzugsweise im Bereich von  $10^{16}$  bis  $10^{22} \text{ cm}^{-3}$ .

Bei der Störstellenemission wird das Emissionsspektrum im wesentlichen breit. Wenn der Betrag der injizierten Ladung steigt, verschiebt sich das Emissionsspektrum mitunter. Wenn hohe Farbreinheit gefordert wird oder wenn es erforderlich ist, eine Lichtleistung in dem schmalen Wellenlängenbereich zu konzentrieren, wird daher eine Bandkantenemission bevorzugt.

Es wird bevorzugt, die Menge der Störstellen, die in der Leuchtschicht enthalten sind, zu verringern, um eine lichtemittierende Vorrichtung mit Bandkantenemission zu realisieren. Insbesondere ist die Konzentration von Elementen, z. B. Si, Ge, Mg, Cd und Zn vorzugsweise nicht größer als  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$ , besonders bevorzugt nicht mehr als  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ .

Wenn Bandkantenemission verwendet wird, hängt die Lichtausbeute von Gitterdefekten in der Leuchtschicht ab und wird mit der Menge der Gitterdefekte kleiner. Es ist deshalb erforderlich, die Menge der Gitterdefekte in der Leuchtschicht so klein wie möglich zu halten. Demzufolge hat die erfindungsgemäße Grundschicht eine große Wirkung für eine Verbesserung der Lichtausbeute der lichtemittierenden Bandkantenemissionsvorrichtung.

Wenn bei dem III-V-Verbindungshalbleiter das InN-Mischkristallverhältnis der Leuchtschicht hoch ist, ist die thermische Stabilität nicht ausreichend, und es kommt während des Kristallwachstums oder des Halbleitervorgangs mitunter zu einer Verschlechterung des Halbleiters. Um eine solche Verschlechterung zu verhindern, kann der Ladungsinjektionsschicht 6 mit einem kleinen InN-Mischkristallverhältnis eine Schutzschichtfunktion verliehen werden, indem die Ladungsinjektionsschicht auf der Leuchtschicht mit einem hohen Mischkristallverhältnis (nachstehend wird die Ladungsinjektionsschicht in diesem Fall mitunter als "Schutzschicht" bezeichnet) angeordnet wird. Das InN- und das AlN-Mischkristallverhältnis der Schutzschicht ist vorzugsweise nicht größer als 10% bzw. nicht kleiner als 5%, um der Schutzschicht eine ausreichende Schutzfunktion zu verleihen. Besonders bevorzugt ist das InN-Mischkristallverhältnis nicht größer als 5% und das AlN-Mischkristallverhältnis nicht kleiner als 10%.

Die Dicke der Schutzschicht ist vorzugsweise 10 Å bis 1 µm, um der Schutzfunktion eine ausreichende Schutzfunktion zu verleihen. Wenn die Dicke der Schutzschicht kleiner ist als 10 Å, kann keine ausreichende Wirkung erreicht werden. Wenn andererseits die Dicke



größer ist als 1  $\mu\text{m}$ , wird die Lichtausbeute herabgesetzt, und dies wird deshalb nicht bevorzugt. Besonders bevorzugt beträgt sie 50 bis 5000 Å.

Es wird bevorzugt, daß die Schutzschicht angesichts der Effizienz der Strominjektion in die leuchtmitte Ver-  
 5 Vorrichtung eine p-Leitfähigkeit aufweist. Es muß mit einer Akzeptorverunreinigung in hoher Konzentration dotiert werden, um der Schutzschicht die p-Leitfähigkeit zu verleihen. Spezifische Beispiele für die Akzeptorverunreinigung sind Elemente der Gruppe II. Von diesen werden Mg und Zn, besonders Mg bevorzugt.  
 10 Wenn die Schutzschicht mit der Verunreinigung in hoher Konzentration dotiert wird, verschlechtert sich die Kristallinität der Schutzschicht, und die Charakteristik der leuchtmitte Ver-  
 15 Vorrichtung verschlechtert sich mitunter ebenfalls. Der Konzentrationsbereich der Verunreinigung, bei der sich die Kristallinität nicht verschlechtert, ist vorzugsweise nicht größer als  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ , besonders bevorzugt nicht größer als  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ .

Als nächstes wird das erfindungsgemäß verwendete Substrat und der Zieh- bzw. Wachstumsvorgang beschrieben.

Als das Substrat zum Ziehen eines Kristalls des III-V-Verbindungshalbleiters werden beispielsweise Saphir, ZnO, GaAs, Si, SiC, NGO ( $\text{NdGaO}_3$ ), Spinell ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) und dgl. verwendet. Da Saphir lichtdurchlässig ist, kann ein Kristall mit einer großen Fläche und einer hohen Qualität hergestellt werden, was wichtig ist.

Beim Ziehen unter Verwendung dieser Substrate kann ein Halbleiter (z. B. GaN, AlN, GaAlN, InGaAlN usw.) mit einer hohen Kristallinität in einem sogenannten zweistufigen Ziehvorgang gezogen werden, bei dem eine dünne Schicht, z. B. aus ZnO, SiC, GaN, AlN, GaAlN usw., oder eine Schichtung dieser Schichten auf dem Substrat als eine Pufferschicht verwendet werden, und dies wird bevorzugt.

Beispiele für das Verfahren zur Herstellung des Verbindungshalbleiters der Gruppe III-V sind u. a. folgende Verfahren: Molekularstrahlepitaxie (nachstehend mitunter als "MBE" bezeichnet), organometallische Dampfphasenepitaxie (nachstehend mitunter als "MOVPE" bezeichnet), Hybriddampfphasenepitaxie (nachstehend mitunter als "HVPE" bezeichnet) und dgl. Wenn das MBE-Verfahren verwendet wird, wird normalerweise ein Gasquellenmolekularstrahlepitaxie- (nachstehend mitunter bezeichnet als "GSMBE")-Verfahren verwendet, das ein Verfahren zur Zuführung eines Stickstoff-Rohmaterials (z. B. Stickstoffgas, Ammoniak, andere Stickstoffverbindungen usw.) im Gaszustand darstellt. In diesem Fall wird ein Stickstoffatom nicht ohne weiteres im Kristall eingelagert, weil das Stickstoffrohmaterial mitunter chemisch inert ist. In diesem Fall kann die Einlagerungseffizienz des Stickstoff erhöht werden, indem das Stickstoffrohmaterial mit Mikrowellen erregt und im aktiven Zustand zugeführt wird.

Als nächstes wird das Herstellungsverfahren nach dem MOVPE-Verfahren für den erfindungsgemäßen III-V-Verbindungshalbleiter beschrieben.

Beim MOVPE-Verfahren werden die folgenden Rohmaterialien verwendet.

Beispiele für das Rohmaterial der Gruppe III sind also Trialkylgallium, das durch die allgemeine Formel  $\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3\text{Ga}$  (wobei  $\text{R}_1$ ,  $\text{R}_2$  und  $\text{R}_3$  eine niedere Alkylgruppe sind) dargestellt wird, z. B. Trimethylgallium  $[(\text{CH}_3)_3\text{Ga}]$ , nachstehend mitunter als "TMG" bezeichnet, Triethylgallium  $[(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{Ga}]$ , nachstehend mitunter als "TEG" bezeichnet] und dgl.; Trialkylaluminium, das

durch die allgemeine Formel  $\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3\text{Al}$  (wobei  $\text{R}_1$ ,  $\text{R}_2$  und  $\text{R}_3$  wie oben definiert sind) dargestellt wird, Trimethylaluminium  $[(\text{CH}_3)_3\text{Al}]$ , Triethylaluminium  $[(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{Al}]$ , nachstehend mitunter als "TEA" bezeichnet], Triisobutylaluminium  $[(i\text{-C}_4\text{H}_9)_3\text{Al}]$  und dgl.; Trimethylaluminan  $[(\text{CH}_3)_3\text{N}:\text{AlH}_3]$ ; Trialkylindium, das durch die allgemeine Formel  $\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3\text{In}$  (wobei  $\text{R}_1$ ,  $\text{R}_2$  und  $\text{R}_3$  wie oben definiert sind) dargestellt wird, z. B. Trimethylindium  $[(\text{CH}_3)_3\text{In}]$ , nachstehend mitunter als "TMI" bezeichnet, Trimethylindium  $[(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{In}]$  und dgl. Diese werden allein oder in Kombination verwendet.

Beispiele für das Rohmaterial der Gruppe V sind Ammoniak, Hydrazin, Methylhydrazin, 1,1-Dimethylhydrazin, 1,2-Dimethylhydrazin, t-Butylamin, Ethylendiamin und dgl. Diese werden allein oder in Kombination verwendet. Von diesen Rohmaterialien werden Ammoniak und Hydrazin bevorzugt, weil sie kein Kohlenstoffatom im Molekül enthalten und eine geringe Kohlenstoffkontamination im Halbleiter bewirken.

Als das p-Dotiermittel des III-V-Verbindungshalbleiters sind Elemente der Gruppe II wichtig. Spezifische Beispiele dafür sind Mg, Zn, Cd, Hg, Be und dgl. Von diesen wird Mg bevorzugt, weil ein p-Mg mit einem geringen Widerstand auf einfache Weise hergestellt wird.

Als das Rohmaterial für das Mg-Dotiermittel wird vorzugsweise eine organometallische Verbindung verwendet, die durch die allgemeine Formel  $(\text{RC}_2\text{H}_4)_2\text{Mg}$  (wobei R Wasserstoff oder eine niedere Alkylgruppe mit 1 bis 4 Kohlenstoffatomen darstellt) dargestellt wird (z. B. Biscyclopentadienylmagnesium, Vinylmethylcyclopentadienylmagnesium, Bisethylcyclopentadienylmagnesium, Bis-n-Propylcyclopentadienylmagnesium, Bis-i-Propylcyclopentadienylmagnesium usw.), und zwar wegen ihres geeigneten Dampfdrucks.

Als das n-Dotiermittel für den III-V-Verbindungshalbleiter sind Elemente der Gruppe IV und der Gruppe VI wichtig. Spezifische Beispiele dafür sind Si, Ge und O. Von diesen wird Si besonders bevorzugt, da ein n-Si mit einem niedrigen Widerstand auf einfache Weise hergestellt wird, und solche mit hoher Rohmaterialreinheit möglich sind. Als das Rohmaterial für das Si-Dotiermittel werden Silan ( $\text{SiH}_4$ ), Disilan ( $\text{Si}_2\text{H}_6$ ), Monomethylsilan ( $\text{CH}_3\text{SiH}_3$ ) und dgl. bevorzugt.

Beispiele für das Ziehen der Vorrichtung nach dem MOVPE-Verfahren, das zur Herstellung des III-V-Verbindungshalbleiters verwendet werden kann, sind ein Einscheibenreaktor, ein Mehrscheibenreaktor und dgl. Beim Mehrscheibenreaktor wird vorzugsweise bei verringertem Druck gezogen, um die Gleichmäßigkeit der Epitaxieschicht in der Scheibenoberfläche aufrechtzuerhalten. Der bevorzugte Bereich des Ziehdrucks im Mehrscheibenreaktor beträgt 0,001 bis 0,8 Atmosphären.

Als das Trägergas können solche Gase verwendet werden wie Wasserstoff, Stickstoff, Argon, Helium und dgl., allein oder in Kombination. Wenn Wasserstoff im Trägergas enthalten ist, wird mitunter keine ausreichende Kristallinität erreicht, wenn der Verbindungshalbleiter mit einem hohen InN-Mischkristallverhältnis gezogen wird. In diesem Fall muß der partielle Druck des Wasserstoffs im Trägergas verringert werden. Der bevorzugte partielle Druck des Wasserstoffs im Trägergas ist nicht größer als 0,1 Atmosphären.

Von diesen Trägergasen werden Wasserstoff und Helium bevorzugt, weil eine kinetische Viskosität größer ist, und eine Konvektion nicht ohne weiteres entsteht. Helium ist teuer im Vergleich zu dem anderen Gas, und



die Kristallinität des Verbindungshalbleiters ist nicht gut, wie oben beschrieben, wenn Wasserstoff verwendet wird. Da Stickstoffgas und Argon vergleichsweise billig sind, können sie zweckmäßig verwendet werden, wenn eine große Menge Trägergas verwendet wird.

Als nächstes wird der zweite Teil der Erfindung beschrieben.

Die erfindungsgemäße lichtemittierende Vorrichtung ist dadurch gekennzeichnet, daß sie eine Struktur aufweist, bei der eine Grundsicht eines III-V-Verbindungshalbleiters, die durch die allgemeine Formel  $\text{In}_a\text{Ga}_b\text{Al}_c\text{N}$  (wobei gilt:  $0 \leq a < 1, 0 < b < 1, 0,05 \leq c < 1$  und  $a + b + c = 1$ ) dargestellt wird, eine Leuchtschicht eines III-V-Verbindungshalbleiters, die durch die allgemeine Formel  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$  (wobei gilt:  $0 < x \leq 1, 0 \leq y < 1, 0 \leq z < 1$  und  $x + y + z = 1$ ) dargestellt wird, und eine Schutzschicht eines III-V-Verbindungshalbleiters, die durch die allgemeine Formel  $\text{In}_a'\text{Ga}_b'\text{Al}_c'\text{N}$  (wobei gilt:  $0 < a' < 1, 0 < b' \leq 1, 0 \leq c' < 1$  und  $a' + b' + c' = 1$ ) dargestellt wird, in dieser Reihenfolge aufeinander geschichtet sind. Die Leuchtschicht hat einen Bandabstand, der kleiner ist als der der Grundsicht und der Schutzschicht, und eine Schichtstruktur dieser drei Schichten bilden die sogenannte Supergitterstruktur. Da die Grundsicht und die Schutzschicht mit einem Vorgang des Injizierens von Ladungen in die Leuchtschicht zu tun haben, werden diese beiden Schichten nachstehend mitunter als "Ladungsinjektionsschicht" bezeichnet.

Ein Ausführungsbeispiel der Struktur des III-V-Verbindungshalbleiters gemäß der Erfindung ist in Fig. 2 dargestellt. Fig. 2 zeigt eine Ausführungsform, bei der eine Pufferschicht 102, eine n-GaN-Schicht 103, eine Grundsicht 104, eine Leuchtschicht 105, eine Schutzschicht 106 und eine p-Schicht 107 auf dem Substrat 101 in dieser Reihenfolge aufeinander geschichtet sind. Ein Strom wird dadurch injiziert, daß eine n-Elektrode auf der n-Schicht 103 bereitgestellt wird, eine p-Elektrode auf der p-Schicht 107 bereitgestellt wird und dann eine Spannung in Vorwärtsrichtung angelegt wird, wodurch eine Emission aus der Leuchtschicht 105 hervorgerufen wird. Als die Leuchtschicht und die Schutzschicht kann die gleiche verwendet werden, wie die, die mit Bezug auf den ersten Teil der Erfindung beschrieben worden ist.

Die Grundsicht wird nachstehend ausführlich beschrieben.

Die Grundsicht ist dadurch gekennzeichnet, daß das AlN-Mischkristallverhältnis im Bereich von 0,05 bis 1 liegt. Wenn das AlN-Mischkristallverhältnis kleiner ist als 0,05, ist eine Änderung der Lumineszenzwellenlänge gering, und die erfindungsgemäße Wirkung wird nicht erreicht. Das AlN-Mischkristallverhältnis ist vorzugsweise nicht kleiner als 0,1, besonders bevorzugt nicht kleiner als 0,15. Wenn das AlN-Mischkristallverhältnis 0,9 überschreitet, wird die Treibspannung mitunter hoch, und dies wird nicht bevorzugt. Demzufolge ist das AlN-Mischkristallverhältnis vorzugsweise nicht größer als 0,9.

Eine Schichtdicke der Grundsicht ist vorzugsweise im Bereich von 10 Å bis 1 µm. Wenn die Schichtdicke der Grundsicht kleiner ist als 10 Å, ist die erfindungsgemäße Wirkung nicht auffällig. Wenn andererseits die Schichtdicke der Grundsicht 1 µm überschreitet, dauert das Ziehen der Grundsicht lange und ist daher für praktische Zwecke nicht geeignet.

Die erfindungsgemäße Grundsicht kann mit der Verunreinigung in dem Bereich dotiert werden, in dem die Kristallinität nicht sinkt. Wenn die Grundsicht

n-dotiert wird, wird die Charakteristik der lichtemittierenden Vorrichtung, z. B. die Treibspannung, die Lichtausbeute und dgl. mitunter nicht verbessert, und dies wird deshalb nicht bevorzugt. Ein spezifisches Beispiel für den bevorzugten Bereich der Dotierungsmenge ist die Trägerkonzentration im Bereich von  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  bis  $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ . Am besten liegt die Trägerkonzentration der Grundsicht im Bereich von  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  bis  $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ . Wenn die Trägerkonzentration kleiner ist als  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  ist die Injektionseffizienz der Ladung mitunter nicht ausreichend. Wenn andererseits die Trägerkonzentration größer ist als  $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ , verschlechtert sich die Kristallinität der Grundsicht, und die Lichtausbeute sinkt mitunter.

Eine Schicht oder mehrere Schichten des n-dotierten oder undotierten Verbindungshalbleiter können zwischen der Grundsicht und dem Substrat angeordnet sein. Wie im ersten Teil der Erfindung beschrieben, wird eine Struktur, bei der mehrere dünne Schichten des Verbindungshalbleiters mit verschiedenen Gitterkonstanten aufeinander geschichtet sind, besonders bevorzugt, weil die Kristallinität der darauf zu ziehenden Schicht mitunter verbessert wird.

In der Schichtstruktur der Grundsicht, der Leuchtschicht und der Schutzschicht, die oben beschrieben worden ist, kann die Gitterkonstante der Leuchtschicht größer gewählt werden als die der Grundsicht, um eine Struktur zu erreichen, bei der auf die Leuchtschicht in der Verbindungsrichtung eine Druckspannung ausgeübt wird, d. h. eine Struktur, bei der eine Druckbelastung in der Richtung parallel zur verbindenden Grenzfläche ausgeübt wird. Um eine solche Struktur zu erreichen, kann ein Verfahren zur Herstellung des InN-Mischkristallverhältnisses der Leuchtschicht, das größer ist als das der Grundsicht, verwendet werden.

Selbst wenn das InN-Mischkristallverhältnis der Leuchtschicht größer ist als das der Grundsicht, entsteht eine Fehlanpassungsversetzung auf der Schnittfläche zwischen der Leuchtschicht und der Grundsicht gemäß dem Verfahren oder der Bedingung des Ziehens dieser Schichten, und die Gittertension der Leuchtschicht tritt ein, und auf die Leuchtschicht wird keine Druckbelastung ausgeübt. Somit kann mitunter keine Leuchtschicht mit hoher Kristallinität erreicht werden. Wenn eine hohe Temperatur (über 1000°C) für eine lange Zeit nach dem Ziehen der Leuchtschicht, ohne daß die Schutzschicht ausgebildet wird, oder wenn die Schutzschicht bei hoher Temperatur (über 1000°C) gezogen wird, schreitet die thermische Verschlechterung der Leuchtschicht mitunter voran. Dabei ist die Ziehtemperatur vorzugsweise nicht höher als 1000°C beim Ziehen des Kristalls der Schutzschicht.

Als das Substrat und der Ziehprozeß, die erfindungsgemäß verwendet werden, kann das bzw. der gleiche wie im ersten Teil der Erfindung beschrieben verwendet werden.

#### Beispiele

Die folgenden Beispiele stellen die Erfindung ferner ausführlich dar, schränken ihren Schutzzumfang jedoch nicht ein.

#### Beispiel 1

Ein III-V-Verbindungshalbleiter mit einer Struktur gemäß Fig. 3 wurde nach einem MOVPE-Verfahren hergestellte Die Saphir-C-Oberfläche wurde spiegelpo-



liert und mit einem organischen Lösungsmittel gespült, und dann wurde das daraus resultierende Ergebnis als ein Substrat 8 verwendet. Als das Ziehverfahren wurde ein zweistufiges Ziehverfahren unter Verwendung von GaN als tieftemperaturgezogene Pufferschicht verwendet. Die GaN-Pufferschicht 9 mit einer Dicke von etwa 300 Å (550°C), eine n-Schicht 1 aus Si-dotiertem GaN mit einer Dicke von etwa 2,5 µm (1050°C) und eine undotierte GaN-Schicht 10 mit einer Dicke von 1500 Å wurden unter Druck von 1/8 Atmosphären unter Verwendung von Wasserstoff als das Trägergas gezogen.

Dann wurde eine Si-dotierte  $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{N}$ -Schicht als die verformte Schicht 2 bei der Substrattemperatur von 750°C für 70 Sekunden unter Zuführung von Stickstoff als Trägergas, TEG, TMI, Silan, das auf ein ppm mit Stickstoff verdünnt worden ist, und Ammoniak jeweils in einer Menge von 4 Normlitern, 0,04 Normkubikzentimetern, 0,6 Normkubikzentimetern, 5 Normkubikzentimetern bzw. 4 Normlitern gezogen. Ferner wurde eine n-Schicht 3 aus Si-dotiertem  $\text{Ga}_{0,8}\text{Al}_{0,2}\text{N}$  bei der gleichen Temperatur für 10 Minuten unter Zuführung von TEG, TEA, dem oben erwähnten Silan und Ammoniak jeweils in der Menge von 0,032 Normkubikzentimetern, 0,008 Normkubikzentimetern, 5 Normkubikzentimetern bzw. 4 Normlitern gezogen.

Es wird vorausgesetzt, daß "Normliter" und "Normkubikzentimeter" Einheiten einer Gasmenge sind. "1 Normliter" bedeutet, daß ein Gas, das einen Liter eines Volumens einnimmt, im Normalzustand pro Minute strömt, und "1000 Normkubikzentimeter" entspricht "1 Normliter".

Für die Schichtdicke der Schicht 2 und der Schicht 3 betragen die Ziehzeiten, die aus der Dicke der Schicht bestimmt werden, die unter der gleichen Bedingung für eine lange Zeit gezogen wird, 43 Å/Minute bzw. 30 Å/Minute. Die Schichtdicke, die durch Berechnung aus der oben genannten Ziehzeit bestimmt wird, beträgt 50 Å bzw. 300 Å.

Nach dem Ziehen der n-Schicht 3 wurden eine Leuchtschicht 5 (50 Å) aus undotiertem  $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{N}$  und eine Ladungsinjektionsschicht 6 (300 Å) aus undotiertem  $\text{Ga}_{0,8}\text{Al}_{0,2}\text{N}$  bei einer Substrattemperatur von 785°C unter dem Ziehdruck von 1 Atmosphäre gezogen.

Nach dem Ziehen der Ladungsinjektionsschicht 6 wurde eine p-Schicht 7 (5000 Å) aus mit Mg-dotiertem GaN bei einer Substrattemperatur von 1100°C gezogen. Die derartig hergestellte Probe wurde in Stickstoff bei 800°C unter dem Druck von 1 Atmosphäre für 20 min wärmebehandelt, um den Widerstand der Mg-dotierten Schicht herabzusetzen.

In der oben beschriebenen Ausführungsform sind die Schichten 9, 1, 10, 2 und 3 Grundschichten. Die Schicht 3 dient als die Ladungsinjektionsschicht.

Bei einem normalen Verfahren werden Elektroden auf der derartig hergestellten Probe ausgebildet, um eine LED herzustellen. Eine Ni-Au-Legierung wurde als die p-Elektrode verwendet, und Al wurde als die n-Elektrode verwendet. Ein Strom (20 mA) wurde in Vorwärtsrichtung durch diese LED geleitet. Infolgedessen emittierte sie klares blaues Licht. Eine Mittenwellenlänge einer Emissionsspitze betrug 4800 Å, und eine Lichtstärke betrug 860 mod.

#### Vergleichsbeispiel 1

Auf die gleiche Weise, wie im Beispiel 1 beschrieben, wurde mit Ausnahme des Ziehens einer Leuchtschicht 5,

einer Ladungsinjektionsschicht 6 und einer p-Schicht 7 aus Mg-dotiertem GaN nach dem Ziehen einer undotierten GaN-Schicht 10 eine LED hergestellt, und dann wurde die LED ebenso bewertet, wie im Beispiel 1 beschrieben. Im Ergebnis emittierte sie klares blaues Licht, und eine Lichtstärke betrug 390 mod.

#### Beispiel 2

Auf die gleiche Weise, wie im Beispiel 1 beschrieben, wurde, außer daß die Schicht 3 eine Si-dotierte GaN ist, eine LED hergestellt, und dann wurde die LED auf die gleiche Weise, wie im Beispiel 1 beschrieben, bewertet. Im Ergebnis betrug die Lichtstärke 630 mod (Mittenwellenlänge der Emissionsspitze: 4600 Å, Quanteneffizienz des externen Quants: 0,8%).

#### Beispiel 3

Auf die gleiche Weise, wie im Beispiel 1 beschrieben, wurde mit Ausnahme des Ziehens einer Mg-dotierten GaN-Schicht 7 unter dem Ziehdruck von 1 Atmosphäre nach dem Ziehen einer undotierten InGaN-Leuchtschicht bei 750°C unter 1/8 Atmosphären unter Verwendung von TEG und TMI jeweils in der Menge von 0,04 Normkubikzentimetern bzw. 0,6 Normkubikzentimetern und durch Ziehen einer Ladungsinjektionsschicht 6 aus undotiertem  $\text{Ga}_{0,8}\text{Al}_{0,2}\text{N}$  bei 750°C unter 1/8 Atmosphären unter Verwendung von TEG und TEA jeweils in der Menge von 0,032 Normkubikzentimetern bzw. 0,008 Normkubikzentimetern eine LED hergestellt, und dann wurde die LED auf die gleiche Weise, wie im Beispiel 1 beschrieben, bewertet. Im Ergebnis betrug die Lichtstärke 520 mod, und eine Mittenwellenlänge einer Emissionsspitze betrug 4600 Å.

#### Vergleichsbeispiel 2

Auf die gleiche Weise, wie im Beispiel 3 beschrieben, wurde mit Ausnahme des Ziehens einer Leuchtschicht 5, einer Ladungsinjektionsschicht 6 und einer Mg-dotierten GaN-Schicht 7 ohne das Ziehen einer verformten Schicht 2 und einer  $\text{Ga}_{0,8}\text{Al}_{0,2}\text{N}$ -Schicht 3 nach dem Ziehen einer undotierten GaN-Schicht 10 eine LED hergestellt. Dann wurde die LED auf die gleiche Weise, wie im Beispiel 1 beschrieben, bewertet. Im Ergebnis emittierte sie sehr schwaches Licht, und eine Lichtstärke betrug nicht mehr als  $10^{-4}$  cd.

#### Beispiel 4

Auf die gleiche Weise, wie im Beispiel 3 beschrieben, wurde mit Ausnahme der Ausbildung einer Struktur durch zweimaliges Ziehen einer verformten Schicht 2 und einer  $\text{Ga}_{0,8}\text{Al}_{0,2}\text{N}$ -Schicht 3 nach dem Ziehen einer undotierten GaN-Schicht 10 eine LED hergestellt. Die LED wurde dann auf die gleiche Weise, wie im Beispiel 1 beschrieben, bewertet. Im Ergebnis betrug die Lichtstärke 240 mod.

#### Beispiel 5

Auf die gleiche Weise, wie im Beispiel 3 beschrieben, wurde mit Ausnahme des Ziehens einer  $\text{Ga}_{0,7}\text{Al}_{0,3}\text{N}$ -Schicht 3 anstelle der  $\text{Ga}_{0,8}\text{Al}_{0,2}\text{N}$ -Schicht 3 nach dem Ziehen einer verformten Schicht 2 eine LED hergestellt. Dann wurde die LED auf die gleiche Weise, wie im Beispiel 1 beschrieben, bewertet. Im Ergebnis





betrug eine Mittenwellenlänge einer Emissionsspitze 5050 Å, und eine Lichtstärke betrug 320 mod. Eine Lumineszenzwellenlänge war länger als die im Beispiel 3.

#### Beispiel 6

Ein III-V-Verbindungshalbleiter gemäß Fig. 4 wird durch Dampfphasenepitaxie nach einem MOVPE-Verfahren gezogen, um eine LED mit einer Lumineszenzwellenlänge von 5100 Å herzustellen.

Nachdem GaN (500 Å) als Pufferschicht 9 auf einem Saphir-(0001)-Substrat 8 bei der Ziehtemperatur von 600°C unter dem Druck von 1/8 Atmosphären ausgebildet worden ist, wurde unter Verwendung von TMG und Ammoniak eine Si-dotierte GaN-Schicht bei 1100°C in der Dicke von 3 µm gezogen.

Eine Si-dotierte  $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,6}\text{Al}_{0,1}\text{N}$ -Schicht und eine Si-dotierte  $\text{Ga}_{0,8}\text{Al}_{0,2}\text{N}$ -Schicht werden wiederholt sechsmal gezogen, um eine Grundsicht auszubilden, und dann wurde eine Ladungsinjektionsschicht 4 einer Si-dotierten  $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,6}\text{Al}_{0,1}\text{N}$ -Schicht gezogen.

Eine Leuchtschicht 5 einer  $\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{N}$ -Schicht (150 Å) wird gezogen, und dann wird eine  $\text{Ga}_{0,8}\text{Al}_{0,2}\text{N}$ -Schicht in der Dicke von 300 Å gezogen.

Dann wird eine Mg-dotierte GaN-Schicht 7 in der Dicke von 5000 Å gezogen. Nach dem Wachstumsvorgang wird das Substrat aus dem Reaktor herausgenommen und in Stickstoff bei 800°C wärmebehandelt, um den Widerstand der Mg-dotierten GaN-Schicht herabzusetzen.

Eine LED mit einem scharfen Emissionsspektrum kann hergestellt werden, indem Elektroden auf der derartig hergestellten Probe nach einem normalen Verfahren hergestellt werden.

#### Beispiel 7

Eine GaN-Pufferschicht 102 mit einer Dicke von etwa 300 Å (Substrattemperatur: 550°C, Ziehdruck: 1 Atmosphäre), eine n-Schicht 103 mit der Dicke von etwa 300 µm aus Si-dotierten GaN (1100°C) und eine Schicht 104 (1500 Å) aus Si-dotiertem  $\text{Ga}_{0,8}\text{Al}_{0,2}\text{N}$  wurden unter Verwendung von Stickstoff als dem Trägergas gezogen.

Dann wurde eine Leuchtschicht aus undotiertem  $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{N}$  (50 Å) bei der Substrattemperatur von 800°C unter Zuführung von Stickstoff als dem Trägergas, TEG, TNI und Ammoniak jeweils in der Menge von 4 Normlitern, 0,04 Normkubikzentimetern, 0,24 Normkubikzentimetern bzw. 4 Normlitern gezogen.

Ferner wurde eine Schutzschicht 106 (300 Å) aus undotiertem  $\text{Ga}_{0,8}\text{Al}_{0,2}\text{N}$  bei der gleichen Temperatur unter Zuführung von TEG, TEA und Ammoniak jeweils in der Menge von 0,032 Normkubikzentimetern, 0,008 Normkubikzentimetern bzw. Normlitern gezogen.

Nach dem Ziehen der Schutzschicht 106 wurde die Temperatur des Substrats auf 1100°C erhöht, und eine p-Schicht 107 (5000 Å) aus Mg-dotiertem GaN wurde gezogen. Die derartig hergestellte Probe wurde in Stickstoff bei 800°C unter 1 Atmosphäre für 20 min wärmebehandelt, um den Widerstand der Mg-dotierten Schicht herabzusetzen.

Bei einem normalen Verfahren wurden Elektroden auf der derartig hergestellten Probe ausgebildet, damit eine lichtemittierende Vorrichtung entsteht. Eine Ni-Au-Legierung wurde als die p-Elektrode verwendet, und Al wurde als die n-Elektrode verwendet. Ein Strom (20 mA) wurde in Vorwärtsrichtung durch die lichtemittierende Vorrichtung geleitet. Im Ergebnis emittierte sie

klares blaues Licht. Eine Mittenwellenlänge einer Emissionsspitze betrug 4800 Å.

Auf die gleiche Weise, wie im oben genannten Beispiel beschrieben, wurde mit Ausnahme der Verwendung von undotiertem GaN als Grundsicht 4 eine Probe hergestellt.

Die derartig hergestellte Probe wurde bewertet. Im Ergebnis betrug eine Lumineszenzwellenlänge 4500 Å bei 20 mA.

Auf die gleiche Weise, wie im oben genannten Beispiel beschrieben, wurde eine Supergitterstruktur, bei der undotiertes GaN (1100°C), eine undotierte aktive InGa<sub>0,5</sub>N-Schicht (800°C) und eine undotierte GaAlN-Schutzschicht (die gleiche Temperatur) aufeinanderangeschichtet wurden, hergestellt und ein Gitterabbild wurde unter Verwendung eines Elektronenmikroskops beobachtet. Im Ergebnis wurde keine Ausbildung einer Fehlanpassungsversetzung auf den Grenzflächen der Leuchtschicht beobachtet. Da die Gitterkonstante von InGa<sub>0,5</sub>N größer ist als die von GaN, ist keine Fehlanpassungsversetzung vor und nach der Supergitterstruktur ausgebildet worden. Deshalb besteht Klarheit, daß eine Druckbelastung auf die InGa<sub>0,5</sub>N-Schicht in der Grenzflächenrichtung ausgeübt wird.

#### Beispiel 8

Auf die gleiche Weise, wie im Beispiel 7 beschrieben, wurde mit Ausnahme des Ziehens von undotiertem GaN anstelle von Si-dotiertem n- $\text{Ga}_{0,8}\text{Al}_{0,2}\text{N}$  und des Ziehens von n- $\text{Ga}_{0,6}\text{Al}_{0,4}\text{N}$  (600 Å) bei 800°C als der Grundsicht 104 unter Verwendung von Stickstoff als dem Trägergas eine Probe hergestellt, und dann wurde die Probe auf die gleiche Weise, wie in Beispiel 1 beschrieben, bewertet. Im Ergebnis wurde beobachtet, daß sie klares grünes Licht emittiert. Die Lumineszenzwellenlänge bei 1 mA betrug 5200 Å.

Der erfindungsgemäße III-V-Verbindungshalbleiter hat hohe Kristallinität und hohe Qualität, und eine lichtemittierende Vorrichtung, die diesen verwendet, hat eine hohe Lichtausbeute, und ihr industrieller Wert ist groß.

Die lichtemittierende Vorrichtung, die den erfindungsgemäßen III-V-Verbindungshalbleiter verwendet, kann die Ausbildung einer Fehlanpassungsversetzung auf der Grenzfläche der Leuchtschicht verhindern und Licht mit einer längeren Wellenlänge auf einfache Weise emittieren. Deshalb kann die Lumineszenzwellenlänge auf einfache Weise in dem breiten Bereich weitergeleitet werden, und ihr industrieller Wert ist groß.

#### Patentsprüche

1. III-V-Verbindungshalbleiter mit mindestens einer Leuchtschicht und einer Ladungsinjektionsschicht auf einem Substrat, wobei die Leuchtschicht ein III-V-Verbindungshalbleiter ist, der durch die allgemeine Formel  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$  (wobei gilt  $0 < x \leq 1$ ,  $0 \leq y < 1$ ,  $0 \leq z < 1$  und  $x + y + z = 1$ ) dargestellt wird, wobei die Ladungsinjektionsschicht ein III-V-Verbindungshalbleiter ist, der durch die allgemeine Formel  $\text{In}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{Al}_{z'}\text{N}$  (wobei gilt:  $0 \leq x' \leq 1$ ,  $0 \leq y' \leq 1$ ,  $0 \leq z' \leq 1$  und  $x' + y' + z' = 1$ ) dargestellt wird und einen Bandabstand hat, der größer ist als der der Leuchtschicht, wobei die Leuchtschicht zwischen zwei Ladungsinjektionsschichten angeordnet ist, die in Kontakt mit ihnen sind, gekennzeichnet durch eine Grund-



schicht, die aus mindestens drei Schichten zwischen der Leuchtschicht und dem Substrat besteht, wobei jede Schicht, die die Grundsicht bildet, ein III-V-Verbindungshalbleiter ist, der durch die allgemeine Formel  $\text{In}_u\text{Ga}_v\text{Al}_w\text{N}$  (wobei gilt:  $0 \leq u \leq 1$ ,  $0 \leq v \leq 1$ ,  $0 \leq w \leq 1$  und  $u + v + w = 1$ ) dargestellt wird, wobei mindestens eine Schicht in der Grundsicht zwischen zwei Schichten mit einem InN-Mischkristallverhältnis angeordnet ist, das kleiner ist als das der Schicht, die in Kontakt mit diesen ist, wobei das InN-Mischkristallverhältnis der Schicht, die zwischen den beiden Schichten mit einem kleineren Mischkristallverhältnis angeordnet ist, um 0,05 oder darüber größer ist als das der Schicht, die mit der Schicht von der Substratseite in Kontakt ist, und wobei mindestens eine Schicht zwischen der Schicht auf der Substratseite von den beiden Schichten mit einem kleineren InN-Mischkristallverhältnis und der Leuchtschicht mit einer n-Verunreinigung dotiert ist.

2. Halbleiter nach Anspruch 1, wobei die Ladungsinjektionsschicht auf der Substratseite von Ladungsinjektionsschichten, zwischen denen die Leuchtschicht angeordnet ist, die in Kontakt mit ihr ist, auch als die Schicht auf der Leuchtschichtseite von den beiden Schichten mit einem kleineren InN-Mischkristallverhältnis dient, zwischen denen die Schicht mit dem größeren InN-Mischkristallverhältnis, die in Kontakt mit ihr ist, in der Grundsicht angeordnet ist.

3. Halbleiter nach Anspruch 1 oder 2, wobei die n-Verunreinigung Si und/oder Ge ist und eine Konzentration der n-Verunreinigung nicht kleiner als  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  ist.

4. Halbleiter nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei die Dicke der Schicht, die zwischen beiden Schichten mit einem kleineren InN-Mischkristallverhältnis in der Grundsicht angeordnet ist, im Bereich von 5 bis 300 Å ist.

5. Halbleiter nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Grundsicht, die aus mindestens drei Schichten besteht, ein III-V-Verbindungshalbleiter ist, der durch Ziehen unter dem Druck im Bereich von 0,001 bis 0,8 Atmosphären nach einem organometallischen Dampfphasenepitaxieverfahren hergestellt wird.

6. Halbleiter nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei mindestens eine Schicht in der Grundsicht zwischen zwei Schichten mit einem InN-Mischkristallverhältnis, das kleiner ist als das der Schicht, die in Kontakt mit ihr ist, angeordnet ist; wenn das InN-Mischkristallverhältnis der Schicht, die zwischen den beiden Schichten mit einem kleineren InN-Mischkristallverhältnis angeordnet ist, um 0,05 bis 0,3 größer ist als das einer Schicht, die mit der Schicht von der Substratseite in Kontakt ist, das Produkt aus einer Differenz des Mischkristallverhältnisses zwischen den Schichten und einer Dicke (Å) der Schicht, die zwischen den beiden Schichten mit einem kleineren InN-Mischkristallverhältnis angeordnet ist, nicht größer ist als 30; und wenn das InN-Mischkristallverhältnis der Schicht, die zwischen den beiden Schichten mit einem kleineren InN-Mischkristallverhältnis angeordnet ist, um 0,3 oder darüber größer ist als das der Schicht, die in Kontakt mit der Schicht von der Substratseite ist, die Dicke der Schicht, die zwischen den beiden Schichten mit einem kleineren InN-Mischkristall-

verhältnis angeordnet ist, nicht größer ist als 100 Å.

7. Lichtemittierende Vorrichtung mit einem III-V-Verbindungshalbleiter nach einem der Ansprüche 1 bis 6.

8. Lichtemittierende Vorrichtung mit einer solchen Struktur, bei der eine Grundsicht eines III-V-Verbindungshalbleiters, die durch die allgemeine Formel  $\text{In}_a\text{Ga}_b\text{Al}_c\text{N}$  (wobei gilt:  $0 \leq a < 1$ ,  $0 < b < 1$ ,  $0,05 \leq c < 1$  und  $a + b + c = 1$ ) dargestellt wird, eine Leuchtschicht eines III-V-Verbindungshalbleiters, die durch die allgemeine Formel  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$  (wobei gilt:  $0 < x \leq 1$ ,  $0 \leq y < 1$ ,  $0 \leq z < 1$  und  $x + y + z = 1$ ) dargestellt wird und einen Bandabstand hat, der kleiner ist als der der Grundsicht, und eine Schutzschicht eines III-V-Verbindungshalbleiters, die durch die allgemeine Formel  $\text{In}_a'\text{Ga}_b'\text{Al}_c'\text{N}$  (wobei gilt:  $0 \leq a' < 1$ ,  $0 < b' \leq 1$ ,  $0 < c' < 1$  und  $a' + b' + c' = 1$ ) dargestellt wird und einen Bandabstand hat, der größer ist als der der Leuchtschicht, in dieser Reihenfolge aufeinander geschichtet sind; und eine Gitterkonstante der Leuchtschicht größer ist als die der Grundsicht und eine Druckbelastung auf die Leuchtschicht in der Verbindungsrichtung ausgeübt wird.

9. Lichtemittierende Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei eine Konzentration eines n-Trägers der Grundsicht gemäß Anspruch 8 im Bereich von  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  bis  $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$  liegt.

10. Lichtemittierende Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, wobei die Schichtdicke der Leuchtschicht gemäß Anspruch 8 im Bereich von 5 bis 90 Å liegt.

11. Lichtemittierende Vorrichtung nach Anspruch 8, 9 oder 10, wobei eine Konzentration von Si, Ge, Zn, Cd und Mg nicht größer ist als  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ .

12. Verfahren zur Herstellung der lichtemittierenden Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, mit dem Schritt: Ziehen der Schutzschicht nach Anspruch 8 bei der Temperatur von nicht über 1000°C.

13. Lichtemittierende Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, wobei eine Konzentration von Mg, die in der Schutzschicht nach Anspruch 8 enthalten ist, nicht größer ist als  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ .

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen



Figure 1

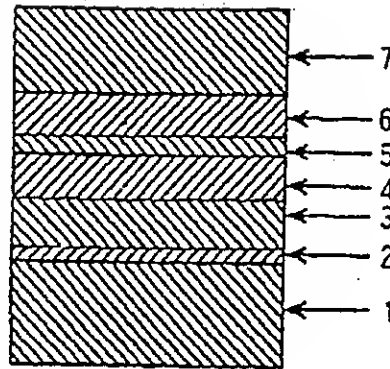


Figure 2

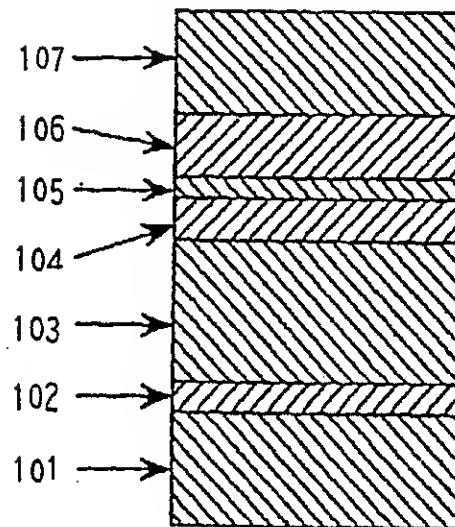




Figure 3

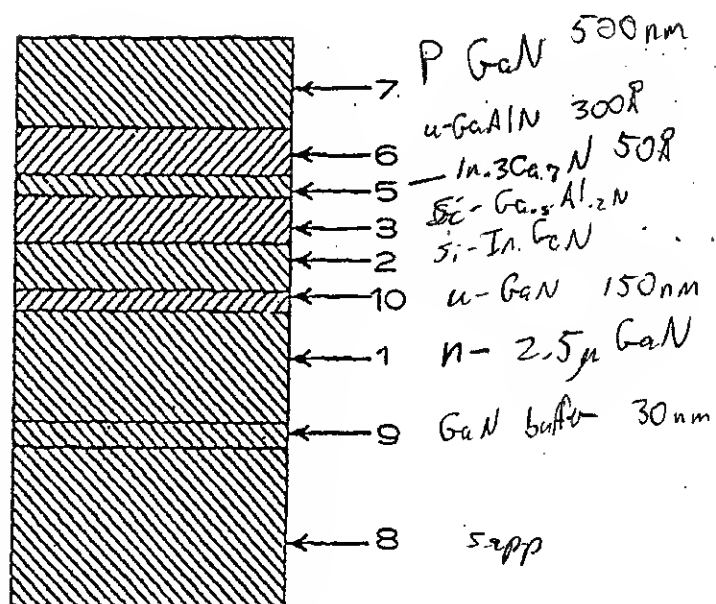


Figure 4

